



THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Jean-Louis De Bougrenet et al.

Applic No.: 10/076,062

Filed : February 13, 2002

For : MANUFACTURING METHOD OF A
DEVICE FOR ATTENUATING A
SIGNAL CARRIED BY AN OPTICAL
FIBER, ATTENUATION DEVICE,
ATTENUATION SYSTEM AND
CORRESPONDING APPLICATIONS

Docket No.: E30.12-0001

Group Art Unit: 2874

Examiner:

CLAIM OF PRIORITY AND TRANSMITTAL OF
CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER IS
BEING SENT BY U.S. MAIL, FIRST CLASS,
TO THE ASSISTANT COMMISSIONER FOR
PATENTS, WASHINGTON, D.C. 20231, THIS

10 DAY OF April, 2002
Robert M. Angus
PATENT ATTORNEY

Sir:

Applicant claims right of priority under the provisions
of 35 USC § 119 based on France Patent Application No. 01 01967,
filed 13 February 2001.

A certified copy of this application is enclosed. This
priority application is identified in the Declaration filed
herewith.

Applicant requests that priority be granted on the
basis of this application.

Respectfully submitted,

WESTMAN, CHAMPLIN & KELLY, P.A.

By: *Robert M. Angus*
Robert M. Angus, Reg. No. 24,383
Suite 1600 - International Centre
900 Second Avenue South
Minneapolis, Minnesota 55402-3319
Phone: (612) 334-3222 Fax: (612) 334-3312

RMA:tas



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 20 FEV. 2002

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 260899

| | | | |
|--|----------------------|---|-------------|
| REMISE DES PIÈCES DATE 13 FEV 2001 LIEU 35 INPI RENNES N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 0101967 13 FEV. 2001 | | 1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Cabinet VIDON LE NOBEL Technopole atalante 2, allée Antoine Becquerel BP 90333 35703 RENNES CEDEX 7 | |
| Vos références pour ce dossier (facultatif) 6731 | | | |
| C nfirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie | | | |
| 2 NATURE DE LA DEMANDE | | Cochez l'une des 4 cases suivantes | |
| Demande de brevet | | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Demande de certificat d'utilité | | <input type="checkbox"/> | |
| Demande divisionnaire | | <input type="checkbox"/> | |
| Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale | | N° | Date : / / |
| | | N° | Date : / / |
| Transformation d'une demande de brevet européen | | <input type="checkbox"/> | Date : / / |
| Demande de brevet initiale | | N° | Date : / / |
| 3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, système d'atténuation et applications correspondantes | | | |
| 4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE | | Pays ou organisation Date : / / N° Pays ou organisation Date : / / N° Pays ou organisation Date : / / N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite» | |
| 5 DEMANDEUR | | <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite» | |
| Nom ou dénomination sociale | | GET/ENST BRETAGNE | |
| Prénoms | | | |
| Forme juridique | | Etablissement Public Administratif | |
| N° SIREN | | | |
| Code APE-NAF | | | |
| Adresse | Rue | Technopole de Brest-Iroise BP 832 | |
| | Code postal et ville | 29285 | BREST Cedex |
| Pays | | FRANCE | |
| Nationalité | | Française | |
| N° de téléphone (facultatif) | | | |
| N° de télécopie (facultatif) | | | |
| Adresse électronique (facultatif) | | | |

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE

LIEU **13 FEV 2001**

N° D'ENREGISTREMENT **35 INPI RENNES**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 260899

Vos références pour ce dossier :
(facultatif)

6731

6 MANDATAIRE

Nom

VIDON

Prénom

Patrice

Cabinet ou Société

Cabinet Patrice VIDON

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

92-1250

Adresse

Rue

LE NOBEL - Technopole atalante
2, allée Antoine Becquerel - BP 90333

Code postal et ville

35703 RENNES CEDEX 7

N° de téléphone (facultatif)

02 99 38 23 00

N° de télécopie (facultatif)

02 99 36 02 00

Adresse électronique (facultatif)

7 INVENTEUR (S)

Les inventeurs sont les demandeurs

☐ Oui

☒ Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformati n)

Établissement immédiat
ou établissement différé

☒

☐

Paiement échelonné de la redevance

Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques

☐ Oui

☐ Non

**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)

☐ Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission
pour cette invention ou indiquer sa référence):

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes

**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**
(Nom et qualité du signataire)

P. VIDON (Mandataire)
CPI 92-1250

VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI

Dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, système d'atténuation et applications correspondantes.

Le domaine de l'invention est celui de la transmission de signaux par fibre optique. Plus précisément, l'invention concerne un dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique.

Les atténuateurs optiques sont des composants clefs dans le déploiement actuel de systèmes de transmission par fibres optiques. De tels atténuateurs sont utilisés à des fins multiples, telles que par exemple :

- 10 - l'adaptation de la puissance optique d'un signal à la gamme de sensibilité en puissance de récepteurs optiques ;
- l'ajustement des niveaux de sortie des amplificateurs optiques de type EDFA (en anglais "Erbium Doped Fibre Amplifier" pour "amplificateur à fibre dopée à l'erbium") ;
- 15 - l'égalisation de la puissance entre différents canaux WDM (en anglais "Wavelength-Division Multiplexing" pour "multiplexage par répartition en longueur d'onde") ;
- le test des performances générales de systèmes optiques dans des conditions de puissance optique variables.

20 On a par ailleurs mis au point différentes technologies permettant de concevoir des atténuateurs optiques variables (en anglais VOA pour "Variable Optical Attenuator"), exploitant différents effets physiques prenant naissance dans les matériaux.

Ainsi, on a pensé à utiliser l'effet thermo-optique, comme dans la fibre VOA de la société MOEC (marque déposée), ou des matériaux à cristaux liquides comme dans les produits E-tek JDS Uniphase (marque déposée).

Ces atténuateurs optiques ont pour inconvénients, pour le premier, de présenter une consommation de puissance importante, et pour le second, de nécessiter l'utilisation d'un dispositif de diversité de polarisation, et d'une régulation très précise en température. Ces multiples problèmes, présentés

notamment dans les documents de brevet US 6 130 984 intitulé "Miniature variable optical attenuator" (en français, "atténuateur optique miniature") de Shen, Xu et Pan, et US 5 727 109 intitulé "Optical attenuator with low polarisation mode dispersion" (en français, "atténuateur optique à faible dispersion de modes de polarisation") de Pan et Shih, conduisent à une
5 augmentation sensible du prix de revient de ces atténuateurs optiques variables.

Plus récemment, une nouvelle technologie, basée sur l'utilisation de MEMS (pour "Micro-Electro-Mechanical Systems" en anglais, "systèmes micro-électro-mécaniques" en français), a été utilisée avec succès par la société Sercalo
10 Microtechnology (marque déposée). En effet, ces composants ont pour avantage de présenter une très grande dynamique d'atténuation (de l'ordre de 50dB), d'être insensibles à la polarisation, et d'être très bas coût, typiquement de l'ordre de 200 US \$.

Cependant, une telle technologie présente des inconvénients liés au
15 problème d'usure mécanique des MEMS.

On a encore envisagé de concevoir des atténuateurs optiques au moyen de diffuseurs aléatoires dont la biréfringence peut être commandée par l'application d'un champ électrique, de façon à moduler la courbe de transmission. De tels composants sont connus pour être de bons atténuateurs optiques, sont a priori
20 insensibles à la polarisation, et présentent une faible consommation.

On connaît notamment deux solutions technologiques particulières permettant de réaliser des VOAs à partir de diffuseurs aléatoires.

La première solution est par exemple décrite dans le document de brevet US 4 364 639 par Sinclair, Straus et Garel-Jones, intitulée "Variable Attenuation
25 Electro-Optic Device" (en français "Dispositif électro-optique d'atténuation variable"). Elle met en œuvre un cristal liquide dopé de type MBBA/EBBA (N - (p' - methoxybenzilidene) - p - n - butylaniline / N - (p' - ethoxybenzilidene) - p - n - butylaniline), confiné entre deux lames de verre, comme décrit dans le document "Dynamic scattering : a new electro-optic effect in certain classes of nematic LC"
30 (en français, "Diffusion dynamique : un nouvel effet électro-optique dans

certaines classes de cristaux liquides nématiques") par Heilmer et al., Proc. SPIE Vol. MS 46, pp 289-298, 1992. Dans un tel dispositif, illustré en figure 1, le faisceau optique est auto-collimaté au moyen de deux micro lentilles collimatrices de type selfocs 10 et 11. Le signal lumineux véhiculé par les fibres optiques monomodes 13 et 14 est atténué lorsqu'il traverse le dispositif à base de cristal liquide 15. Les conditions opératoires consistent à appliquer une tension alternative parallèlement à la direction de propagation du faisceau optique 12.

Un inconvénient de cette technique de l'art antérieur est que l'effet d'atténuation obtenu est faible, et il est par conséquent nécessaire d'appliquer aux bornes du dispositif des tensions électriques élevées, pour obtenir une atténuation suffisante du signal.

Un autre inconvénient de cette technique de l'art antérieur est que, du fait de la petite taille du cœur des fibres monomodes (en anglais SMF pour "Single Mode Fibre"), les interconnexions ont de faibles tolérances d'alignement, ce qui rend délicate la fabrication d'un tel atténuateur optique. L'introduction des lentilles 10 et 11 accroît encore la complexité d'un tel assemblage, et par voie de conséquence rend l'ensemble plus coûteux. Une telle solution présente notamment des pertes d'insertion et de connectique importantes.

La deuxième solution consiste à utiliser un mélange de polymère et de cristal liquide (en anglais PDLC pour "Polymer Dispersed Liquid Crystal"), du type décrit dans le document "Polymer Encapsulated Nematic LC" (en français "Cristal liquide nématique encapsulé dans un polymère"), Proc. SPIE Vol. MS 46, pp 510-512, 1992 par J. L. Fergason. Un tel composé permet de réaliser des atténuateurs optiques variables à forte dynamique. On a par ailleurs proposé, notamment dans le document "Polarisation independent optical fibre modulator by use of PDLC" (en français "Modulateur à fibre optique indépendant de la polarisation mettant en œuvre un PDLC"), Applied Optics Vol. 37, pp 3181-3189, 1998 par Takizama, Kodama et Kishi, d'associer l'utilisation de fibres optiques monomodes à celle de composants de type PDLC.

Une telle association présente cependant de sévères limitations fonctionnelles, liées notamment à la faible efficacité d'atténuation d'un tel dispositif. En effet, pour obtenir une atténuation suffisamment importante du faisceau incident, il est nécessaire d'accroître l'épaisseur de la cellule de PDLC, et
5 donc d'augmenter la tension électrique appliquée aux bornes de la cellule, en proportions souvent prohibitives.

Les deux solutions décrites ci-dessus sont néanmoins potentiellement des solutions bas-coût, qui présentent l'avantage d'être insensibles à la polarisation, tout en bénéficiant des atouts de l'utilisation de cristaux liquides, tels que par
10 exemple une faible consommation énergétique.

Cependant, elles ne permettent pas de répondre aux nouvelles spécifications liées aux systèmes de télécommunications actuels, et doivent donc être modifiées et adaptées, notamment dans une logique de composant bas-coût. En particulier, elles ne permettent pas d'atteindre une dynamique d'atténuation
15 suffisante.

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir un dispositif d'atténuation optique variable répondant aux contraintes spécifiques liées aux
20 systèmes de télécommunication actuels.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre un dispositif d'atténuation optique variable qui soit simple et peu coûteux à concevoir, à assembler et à mettre en œuvre.

L'invention a encore pour objectif de fournir un dispositif d'atténuation
25 optique compact et robuste.

L'invention a également pour objectif de mettre en œuvre un dispositif d'atténuation optique variable qui présente une grande dynamique d'atténuation.

Encore un autre objectif de l'invention est de fournir un dispositif d'atténuation optique variable qui présente une grande plage d'utilisation en
30 température et une indépendance à la polarisation.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux.

Selon l'invention, un tel dispositif comprend :

- 5 - une première fibre monomode à cœur étendu, formant moyens d'élargissement d'une section dudit faisceau lumineux ;
- un cristal liquide formant moyens d'atténuation d'une énergie associée audit faisceau lumineux élargi ;
- une deuxième fibre monomode, située en vis-à-vis de ladite première fibre
- 10 monomode, ladite deuxième fibre étant de type à cœur étendu, de manière à former moyens de réduction d'une section dudit faisceau lumineux atténué,

et ledit cristal liquide est inséré dans une cavité formée entre lesdites deux fibres monomodes en vis-à-vis, ladite cavité étant de section sensiblement égale à la

15 section de chacune desdites fibres à cœur étendu.

Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive de l'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique, offrant les avantages des cristaux liquides, tout en présentant une bonne dynamique d'atténuation, et une grande simplicité d'assemblage du dispositif.

20 En effet, l'invention propose notamment un atténuateur optique comprenant des fibres optiques à cœur étendu, de façon à élargir la section du faisceau optique incident sur le cristal liquide, et à permettre ainsi une meilleure atténuation de la puissance optique, tout en maintenant une cellule de cristal liquide de faible épaisseur.

25 L'invention propose également de concevoir une cellule de cristal liquide de section égale à celle des fibres à cœur étendu constituant le dispositif d'atténuation : ainsi, le dispositif d'atténuation optique selon l'invention présente l'avantage d'être compact, et d'une grande simplicité de fabrication. L'alignement des différents éléments constitutifs de l'atténuateur optique selon l'invention est

30 rendu très facile, tous les éléments étant de section sensiblement identique, et le

dispositif ainsi conçu est donc plus tolérant que les dispositifs de l'art antérieur vis-à-vis des erreurs de positionnement des fibres, ce qui permet de réduire avantageusement les pertes d'insertion.

Avantageusement, au moins une partie des extrémités desdites fibres en vis-à-vis est conductrice et sensiblement transparente.

On peut ainsi contrôler le dispositif d'atténuation optique selon l'invention en appliquant une tension électrique aux extrémités conductrices des fibres en vis-à-vis, sans pour autant entraver la transmission du faisceau lumineux, ces extrémités conductrices étant sensiblement transparentes.

Selon une première variante avantageuse de l'invention, chacune desdites première et deuxième fibres à cœur étendu est réalisée par ajout, à au moins une extrémité d'une fibre monomode, d'au moins un bloc de nature distincte de celle de ladite fibre monomode, ledit au moins un bloc étant choisi de façon que son diamètre extérieur soit sensiblement égal à celui de ladite fibre monomode.

En effet, on privilégie la compacité et la simplicité d'assemblage du dispositif d'atténuation de l'invention, en veillant à ce que les éléments qui le constituent soient de sections sensiblement égales.

Préférentiellement, chacune desdites première et deuxième fibres à cœur étendu est réalisée par ajout à au moins une extrémité d'une fibre monomode d'au moins deux blocs, de natures distinctes de celle de ladite fibre monomode, et lesdits au moins deux blocs comprennent :

- un bloc de fibre en silice ;
- un bloc de fibre multimode à gradient d'indice.

On conçoit ainsi des première et deuxième fibres spéciales, incluant en leur extrémité une micro-optique, comprenant une section de fibre à gradient d'indice et une section de fibre en silice sans cœur. La taille du spot, et la distance séparant les deux fibres monomodes en vis-à-vis dans le dispositif peuvent être ajustées par modification de la longueur des deux blocs de la micro-optique. Par ailleurs, une telle micro-optique peut être protégée et déplacée de l'extrémité de la

fibre monomode, de façon à permettre des traitements de surface, comme par exemple le dépôt d'électrodes.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, un bloc tampon de fibre multimode à saut d'indice est en outre ajouté à chacune desdites extrémités en vis-à-vis desdites première et deuxième fibres, ledit bloc étant choisi de façon
5 que son diamètre extérieur soit sensiblement égal à celui desdites première et deuxième fibres.

Une telle fibre tampon peut être rapportée à l'extrémité de la micro-optique par soudure, de manière notamment à faciliter le procédé de packaging de
10 l'atténuateur selon l'invention.

Selon une deuxième variante avantageuse de l'invention, lesdites deux fibres monomodes à cœur étendu sont réalisées par diffusion de dopants du cœur optique d'une fibre monomode clivée.

Les fibres monomodes à cœur étendu ainsi réalisées permettent d'élargir ou
15 de réduire la section du faisceau lumineux, tout en présentant un diamètre extérieur constant.

Avantageusement, lesdites première et deuxième fibres monomodes à cœur étendu sont des fibres à maintien de polarisation.

Selon une technique avantageuse de l'invention, ledit cristal liquide est un
20 cristal liquide dispersé dans un polymère (en anglais PDLC pour "Polymer Dispersed Liquid Crystal").

On peut ainsi envisager de réaliser un composant constitué d'une suspension de gouttelettes de cristal liquide dans un milieu hôte de type polymère. Dans un tel composant, l'orientation des directeurs à l'intérieur des gouttelettes est
25 déterminée par les interactions entre polymère et cristal liquide à l'interface. Ces orientations sont généralement aléatoirement distribuées en l'absence de champ électrique.

Selon une première caractéristique avantageuse de l'invention, un tel dispositif comprend des moyens de contrôle par un champ électrique desdits
30 moyens d'atténuation.

Ainsi, en appliquant une tension électrique aux bornes de la cellule de cristal liquide, on peut influencer sur l'ampleur du phénomène de diffusion qui y prend naissance. Dans le cas où le cristal liquide est de type PDLC, on peut ainsi contrôler la différence entre les indices de réfraction relatifs du cristal liquide et du polymère, et faire continûment passer le PDLC d'un état opaque à un état transparent. Le faisceau optique incident sur le cristal est alors atténué, du fait de l'énergie perdue par diffusion lors de la traversée du cristal liquide.

Avantageusement, au moins une partie de la périphérie de chacune desdites première et deuxième fibres monomodes à cœur étendu est métallisée, et ledit champ électrique est créé entre deux électrodes constituées par chacune desdites parties métallisées desdites fibres en vis-à-vis.

Cette technique constitue une variante à la métallisation des extrémités des fibres décrite précédemment.

Selon une deuxième caractéristique avantageuse de l'invention, un tel dispositif comprend des moyens de contrôle par un champ optique desdits moyens d'atténuation.

En effet, dans des conditions de fort éclaircissement (typiquement de l'ordre de plusieurs centaines de mW par $100\mu\text{m}^2$), on observe, dans un cristal de type PDLC, une réorientation du directeur induite par le champ optique. Une onde électromagnétique incidente de polarisation quelconque, de forte puissance, perpendiculaire à l'axe de propagation du faisceau lumineux, a pour effet d'orienter toutes les molécules de cristal liquide du PDLC dans une même direction. Le PDLC est alors rendu très fortement diffuseur, et le dispositif d'atténuation selon l'invention se comporte donc comme un limiteur de puissance optique.

On réalise ainsi un limiteur de puissance à coût réduit, puisque la puissance du faisceau lumineux peut être atténuée sans qu'il soit nécessaire d'appliquer une tension aux bornes du dispositif.

On peut également envisager d'ajouter un dopant au cristal liquide du PDLC, de façon à augmenter l'effet non-linéaire qui y prend naissance.

L'invention concerne également l'application du dispositif d'atténuation décrit précédemment à la mise en œuvre de l'un au moins des dispositifs appartenant au groupe comprenant :

- un limiteur de puissance contrôlable par puissance optique ;
- 5 - un atténuateur variable contrôlable par tension.

L'invention concerne encore un système d'atténuation d'au moins un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, comprenant au moins deux dispositifs d'atténuation tels que décrits précédemment, dans lequel les fibres desdits au moins deux dispositifs d'atténuation sont disposées en ruban de fibres.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- 15 - la figure 1, déjà décrite précédemment, présente un schéma simplifié d'un atténuateur optique de l'art antérieur mettant en œuvre des micro-lentilles collimatrices de type selfocs ;
- la figure 2 présente un synoptique d'un ruban de micro-optique mis en œuvre dans un système d'atténuation selon l'invention ;
- 20 - la figure 3 illustre une vue schématique d'une micro-optique de la figure 2 présentant une zone tampon ;
- la figure 4 présente une fibre à cœur étendu de type TEC pouvant être mise en œuvre dans une variante de réalisation de l'invention ;
- les figures 5a et 5b illustrent le principe de fonctionnement d'un atténuateur optique selon l'invention lorsqu'il comprend un cristal de type PDL
- 25 - les figures 6a et 6b illustrent le principe de fonctionnement d'un atténuateur optique selon l'invention lorsqu'il est contrôlé par la puissance optique ;
- 30 - les figures 7a à 7d illustrent le principe d'un atténuateur optique

comprenant un composant de type PDLC pouvant être contrôlé simultanément par la tension et par la puissance optique ;

- les figures 8a et 8b présentent des exemples de supports sur lesquels peut être intégré un système d'atténuation optique selon l'invention.

5 Le principe général de l'invention repose sur la combinaison de fibres monomodes à cœur étendu et d'une cellule de cristal liquide de type PDLC pour réaliser un atténuateur optique variable compact et présentant une grande dynamique d'atténuation.

10 On présente, en relation avec la figure 2, un mode de réalisation d'un ruban de micro-optique utilisé dans un système d'atténuation selon l'invention.

On rappelle que, selon l'invention, un tel système d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux comprend une pluralité de dispositifs d'atténuation, et que la pluralité de fibres optiques mises en œuvre dans ces dispositifs sont disposées en ruban de fibres, ainsi que représenté 15 sur la figure 2.

Le ruban illustré en figure 2 comprend 4 paires de fibres optiques monomodes en vis-à-vis ($21_1, 21_2$), ($22_1, 22_2$), ($23_1, 23_2$) et ($24_1, 24_2$). A l'extrémité de chacune des fibres optiques monomodes en vis-à-vis 21_1 à 24_2 , on rapporte une section de fibre en silice sans cœur 25, puis une section de fibre multimode à 20 gradient d'indice 26 (ou GRIN pour "Graded Index Fibre"). Ces sections de fibres sont rapportées par soudure aux extrémités des fibres monomodes.

La taille du spot lumineux σ et la distance de travail δ peuvent être ajustées par modification de la longueur de ces deux sections. Le diamètre de spot, défini à $1/e^2$ du maximum d'intensité, peut être étendu jusqu'à $60 \mu\text{m}$, par 25 rapport à une largeur de fibre monomode d'environ $10 \mu\text{m}$. La perte d'insertion entre les deux micro-optiques est de 0,84 dB incluant le gap d'air et une tolérance latérale (plus de $\pm 10 \mu\text{m}$ pour 1dB de pertes).

Le procédé de fabrication du ruban de micro-optiques de la figure 2 nécessite peu d'étapes, et est donc bien adapté à une production de masse à bas 30 coût. Le diamètre extérieur de l'ordre de $125 \mu\text{m}$ des fibres monomodes est

maintenu le long de la micro-optique du ruban de la figure 2, et permet donc un packaging compact. Par ailleurs, une tolérance importante aux défauts d'alignement facilite l'assemblage collectif d'un tel ruban.

Ainsi qu'illustré en figure 2, une telle micro-optique permet d'obtenir une
 5 distance de travail δ comprise environ entre 0 et 1 mm, ce qui permet d'introduire entre les extrémités de chacune des paires de fibres $(21_1, 21_2)$, $(22_1, 22_2)$, $(23_1, 23_2)$ et $(24_1, 24_2)$, allongées des sections 25 et 26, une épaisseur suffisante de cristal liquide de type PDLC pour réaliser un atténuateur optique performant.

Par ailleurs, la micro-optique présentée en figure 2 permet d'obtenir un
 10 large spot, ce qui accroît les propriétés de diffuseurs du PDLC, car un plus grand volume de PDLC est ainsi traversé par le faisceau lumineux.

Toutes ces propriétés permettent donc une conception et un assemblage du ruban de la figure 2, et du système d'atténuation optique dans lequel il est mis en œuvre, qui sont bien adaptés aux spécifications des systèmes de
 15 télécommunication actuels (à savoir de faibles pertes d'insertion, une faible PDL (en anglais, "Polarization Dependant Loss" pour "perte dépendante de la polarisation", etc.), et ceci à très faible coût.

La micro-optique présentée en figure 2, qui permet l'extension du faisceau optique transmis par les fibres monomodes, peut être protégée et déplacée de
 20 l'extrémité de la fibre monomode, permettant ainsi de faciliter la mise en œuvre de traitements de surface, tels que le dépôt d'électrodes.

Une distance tampon peut notamment être introduite en bout de fibre, ainsi qu'illustré en figure 3. Une fibre tampon 31 est rapportée à l'extrémité de la micro-optique constituée par la fibre monomode 21_1 , la fibre GRIN 26 et la fibre en
 25 silice 25, par soudure. Cette fibre tampon est, dans un mode de réalisation préféré de l'invention, une fibre multimode à saut d'indice.

L'ajout d'une telle fibre tampon 31 à l'extrémité de la micro-optique peut faciliter le procédé de packaging des fibres constitutives du dispositif d'atténuation selon l'invention.

En effet, la fibre tampon 31 permet de maintenir un mode élargi dans la fibre à cœur étendu sans que la longueur de cette dernière soit critique. Une telle propriété permet de simplifier le clivage de la fibre.

La micro-optique illustrée en figures 2 et 3 constitue une première solution pour élargir le faisceau lumineux véhiculé par une fibre optique sans modifier le diamètre extérieur de cette fibre. Une deuxième solution est illustrée en figure 4. Elle consiste à modifier le cœur optique 42 d'une fibre monomode 41 par diffusion des atomes du dopage, en mettant en œuvre un traitement thermique spécifique. On obtient ainsi une fibre 41 à mode élargi, appelée TEC (pour l'anglais "Thermally diffused Expanded Core", en français "cœur étendu par diffusion thermique"). Une telle fibre 41 est notamment présentée dans le document "Beam expanding fiber using thermal diffusion of the dopant" (en français, "Fibre à élargissement de faisceau par diffusion thermique du dopant"), JLT, vol. 8, n°8, August 1990, pp. 1151-1161 par Shiraishi et al.

Dans le cadre de l'invention, on peut cliver cette fibre à cœur étendu 41, et insérer une cellule de cristal liquide entre les deux parties de fibre ainsi obtenues. Les deux parties de fibre à cœur étendu obtenues par clivage constituent alors respectivement des moyens d'élargissement et des moyens de réduction d'une section du faisceau lumineux, ce faisceau étant atténué en traversant la cellule de cristal liquide intermédiaire.

On présente désormais, en relation avec les figures 5a et 5b, le principe général de l'atténuation contrôlée par application d'un champ électrique d'un faisceau optique qui traverse une cellule de cristal liquide de type PDLC dans le cadre de l'invention.

On considère l'atténuateur optique 50. Un tel atténuateur 50 comprend :

- une première fibre monomode à cœur étendu 51, permettant d'élargir la section du faisceau lumineux ;
- une cellule 56 de PDLC, dans laquelle des gouttelettes 54 de cristal liquide sont en suspension dans un polymère. Cette cellule est, selon l'invention, de diamètre extérieur égal à celui de la fibre 51 ;

- une deuxième fibre monomode à cœur étendu 52, permettant de réduire la section du faisceau lumineux atténué par la cellule 56, de diamètre extérieur égal à celui de la fibre 51 et de la cellule 56.

Les fibres 51 et 52 peuvent être des fibres de type TEC, telles qu'illustrées sur la figure 4, ou des fibres monomodes à l'extrémité desquelles ont été rapportées par soudure des sections de fibre GRIN et de fibre en silice sans cœur, telles qu'illustrées en figures 2 et 3.

Comme évoqué précédemment, l'orientation des directeurs à l'intérieur des gouttelettes 54 est déterminée par les interactions entre le polymère et le cristal liquide à l'interface. Ces orientations sont généralement aléatoirement distribuées en absence de champ électrique, ainsi qu'illustré en figure 5a. La différence d'indice relative entre le cristal liquide et le polymère induit un phénomène de diffusion. Du fait que l'épaisseur de la cellule 56 (typiquement de l'ordre de 10 μm) est beaucoup plus grande que la taille des gouttelettes 54 (typiquement de l'ordre de 0,5 à 1 μm), la lumière incidente 57 est diffusée plusieurs fois avant d'émerger de la cellule 56, ainsi que représenté par les flèches en traits fins de la figure 5a. L'importance du phénomène de diffusion dépend de la taille, de la biréfringence et de la concentration des gouttelettes 54.

En contrôlant la différence entre les indices de réfraction relatifs du cristal liquide et du polymère, le PDLC 56 peut passer continûment de l'état opaque à l'état transparent. Un faisceau optique 57 incident par la fibre 51 est alors atténué du fait de l'énergie perdue par diffusion. Dans une configuration de PDLC préférée de l'invention, c'est le régime de Mie qui est considéré, à savoir une discontinuité d'indice très faible entre le polymère et le cristal liquide (de l'ordre de $\delta n \ll 1$), pour une taille de gouttelette 54 comparable à la longueur d'onde de la lumière incidente 57.

L'atténuation ainsi obtenue suit alors la loi de Beer-Lambert :

$$I(z) = I(0) \exp(-2\pi N a^2 z) \quad (1)$$

où N est le nombre de gouttelettes 54 par unité de volume, a le diamètre des gouttelettes (supposées de forme sphérique) et z l'axe de propagation. La relation

(1) donne les paramètres physiques déterminant la gamme d'atténuation du faisceau 57. L'épaisseur de la cellule de PDLC est seulement limitée par les tensions appliquées.

5 Lorsqu'on applique une tension 53 aux bornes de la cellule 56, les directeurs des gouttelettes s'orientent dans le champ électrique, et le faisceau incident 57 n'est plus diffusé. Le PDLC est alors transparent.

 On notera qu'on a représenté sur les figures 5a et 5b des électrodes 55, aux bornes desquelles sont appliquées la tension 53. Ces électrodes peuvent être réalisées par un dépôt conducteur transparent aux extrémités des fibres 51 et 52.
10 Elles peuvent également être réalisées en opérant une métallisation au moins partielle de la périphérie des fibres 51 et 52.

 La figure 5b illustre un atténuateur optique similaire à celui de la figure 5a, mais dans lequel le PDLC utilisé est un cristal liquide nématique à anisotropie diélectrique négative, dans une configuration homéotrope.

15 Un tel atténuateur optique 50 présente l'avantage que les gouttelettes 54 de cristal liquide sont alignées parallèlement à la direction de propagation du faisceau lumineux 57 en absence de champ électrique, c'est-à-dire à l'état de repos.

 L'atténuateur 50 est donc transparent lorsque la tension appliquée 53 est nulle, ce qui présente donc des avantages opérationnels, notamment en termes de
20 dépense énergétique. L'atténuateur 50 passe dans un état opaque lorsqu'on applique une tension 53 aux bornes des électrodes 55.

 On peut également, dans un autre mode de réalisation de l'invention, envisager un pilotage du PDLC par la puissance optique, ainsi qu'illustré par les figures 6a et 6b.

25 Sur la figure 6a, la puissance optique à laquelle est soumis le PDLC 56 est de faible amplitude. La tension électrique appliquée aux bornes du PDLC 56 est nulle, ainsi que schématisé par l'interrupteur ouvert 60. Le faisceau incident 57 ne subit pas de diffusion lorsqu'il traverse la cellule de PDLC 56.

 Sur la figure 6b en revanche, la puissance optique associée au faisceau
30 incident 57 est forte. Les molécules des gouttelettes 54 s'orientent alors

perpendiculairement à la direction de propagation du faisceau 57, qui est fortement diffusé lors de la traversée de la cellule 56, ainsi qu'illustré par les flèches divergentes en traits fins de la figure 6b. On notera que la tension appliquée aux bornes du PDLC 56 est toujours nulle, ainsi que l'illustre
5 l'interrupteur ouvert 60.

En effet, dans des conditions de fort éclaircissement (typiquement de l'ordre de plusieurs dizaines de mW par $100\text{ }\mu\text{m}^2$), l'onde électromagnétique de polarisation quelconque (de forte puissance) incidente qui est perpendiculaire à l'axe de propagation du faisceau lumineux 57 a pour effet d'orienter les molécules des
10 gouttelettes 54 dans la même direction. Le PDLC 56 est alors rendu très diffuseur. Le maximum de biréfringence est atteint en configuration homéotrope lorsque le cristal liquide est orienté dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation de la lumière.

L'atténuateur optique 50 se comporte alors en limiteur de puissance
15 optique, c'est-à-dire comme un interrupteur qui se ferme automatiquement lorsque la puissance optique est très importante, selon un comportement similaire à celui du Q switch.

L'effet illustré en figure 6b est utilisé lorsque le cristal liquide est en configuration homéotrope avec une anisotropie diélectrique positive.

20 On présente désormais, en relation avec les figures 7a à 7d, un exemple de réalisation d'un atténuateur optique selon l'invention présentant simultanément des moyens de contrôle optique et électrique de l'atténuation appliquée au faisceau lumineux incident.

Sur la figure 7a, le PDLC 56 de l'atténuateur optique 50 est dans un état de
25 repos. Les directeurs des gouttelettes 54 sont orientés aléatoirement en l'absence de champ électrique. Le PDLC 56 est alors dans un état opaque, et atténue un faisceau incident 57 par diffusion, comme illustré par les flèches en traits fins de la figure 7a.

Selon l'invention, on peut envisager d'exposer le composant 56 à un champ
30 transversal intense lors de la polymérisation du PDLC, par voie optique ou par

voie électrique. Les molécules des gouttelettes 54 vont alors toutes être orientées au repos dans un plan perpendiculaire par rapport à l'axe de propagation du faisceau lumineux 57, et suivant le vecteur de polarisation de l'onde incidente.

5 Ainsi, si l'on expose le PDLC 56 à un fort champ optique lors de sa polymérisation, on obtient un atténuateur optique 50 qui présente au repos un état opaque optimum, illustré en figure 7b : les directeurs sont orientés perpendiculairement à l'axe de propagation du faisceau lumineux, l'amplitude du phénomène de diffusion (schématisé par les flèches en traits fins) est maximale.

10 Si, en revanche, on soumet le PDLC 56 à un fort champ électrique au cours de la polymérisation, on obtient au repos un état transparent optimum de l'atténuateur 50, dans lequel les molécules des gouttelettes sont alignées dans la direction de propagation du faisceau lumineux incident 57, ainsi qu'illustré en figure 7d.

15 Lorsqu'un atténuateur optique, présentant une configuration au repos similaire à celle de la figure 7d, est soumis à une forte puissance optique, les directeurs des gouttelettes 54 ont tendance, sous l'effet du champ optique, à s'orienter dans une configuration perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau 57, ainsi qu'illustré en figure 7b. On réalise alors un dispositif limiteur de puissance optique.

20 Lorsqu'un atténuateur optique, présentant une configuration au repos similaire à celle de la figure 7b, est soumis à une tension électrique, les directeurs des gouttelettes 54 ont tendance, sous l'effet du champ électrique, à s'orienter dans la direction de propagation du faisceau 57. On réalise alors un atténuateur optique variable.

25 Lorsqu'on envisage un contrôle simultané par la puissance optique et par le champ électrique, ainsi qu'illustré en figure 7c, les gouttelettes 54 de cristal liquide subissent l'effet antagoniste des deux champs dus à l'onde optique et à la tension appliquée 53 et s'alignent selon la résultante vectorielle de ces deux champs.

Il faut noter cependant que lorsque le dispositif est dans un régime de type limiteur de puissance, le contrôle principal du dispositif est effectué par la puissance optique, l'application d'une tension ne venant que contrebalancer cet effet. Inversement, lorsque le dispositif selon l'invention est dans une configuration de type atténuateur optique variable, le contrôle principal s'effectue par la tension appliquée aux bornes de la cellule de PDLC, l'influence de la puissance optique ne permettant que de contrebalancer cet effet.

Cette propriété des cellules de PDLC de pouvoir être contrôlées simultanément par puissance optique et par tension électrique permet de réaliser des atténuateurs à forte dynamique.

On présente désormais en relation avec les figures 8a et 8b des exemples de supports sur lesquels un atténuateur optique selon l'invention peut être intégré.

Comme indiqué précédemment, un atténuateur optique selon l'invention a une structure d'assemblage simple, et est composé de deux fibres à mode élargi en vis-à-vis et d'un cristal liquide inséré dans la cavité formée entre ces deux fibres. Le champ électrique de contrôle du niveau d'atténuation est appliqué au cristal liquide par l'intermédiaire des fibres, par exemple par dépôt d'électrodes transparentes sur celles-ci. Un contrôle optique du niveau d'atténuation est aussi possible via un éclairage du cristal liquide. L'ensemble de ce dispositif d'atténuation est intégré dans un support, qui peut par ailleurs regrouper plusieurs atténuateurs ou limiteurs de puissance. Une réalisation collective est donc possible pour réduire les coûts de fabrication. Un exemple de support est présenté en figures 8a et 8b.

Ainsi qu'illustré en figure 8a, un tel support maintient une fibre optique 81, dans laquelle a été insérée une cellule de PDLC 80 selon la technique décrite précédemment. Il comprend notamment un contact 83 et un micro capillaire 82.

La vue éclatée d'un support présentée en figure 8b laisse apparaître le corps du support 85, la partie supérieure du support 84, et le micro capillaire 82.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, caractérisé en ce qu'il comprend :
 - une première fibre monomode à cœur étendu, formant moyens
 - 5 d'élargissement d'une section dudit faisceau lumineux ;
 - un cristal liquide formant moyens d'atténuation d'une énergie associée audit faisceau lumineux élargi ;
 - une deuxième fibre monomode, située en vis-à-vis de ladite première fibre monomode, ladite deuxième fibre étant de type à cœur étendu, de manière
 - 10 à former moyens de réduction d'une section dudit faisceau lumineux atténué,

et en ce que ledit cristal liquide est inséré dans une cavité formée entre lesdites deux fibres monomodes en vis-à-vis, ladite cavité étant de section sensiblement égale à la section de chacune desdites fibres à cœur étendu.
- 15 2. Dispositif d'atténuation selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins une partie des extrémités desdites fibres en vis-à-vis est conductrice et sensiblement transparente.
3. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que chacune desdites première et deuxième fibres à cœur étendu
- 20 est réalisée par ajout, à au moins une extrémité d'une fibre monomode, d'au moins un bloc de nature distincte de celle de ladite fibre monomode,

ledit au moins un bloc étant choisi de façon que son diamètre extérieur soit sensiblement égal à celui de ladite fibre monomode.

4. Dispositif d'atténuation selon la revendication 3, caractérisé en ce que
- 25 chacune desdites première et deuxième fibres à cœur étendu est réalisée par ajout à au moins une extrémité d'une fibre monomode d'au moins deux blocs, de natures distinctes de celle de ladite fibre monomode,

et en ce que lesdits au moins deux blocs comprennent :

 - un bloc de fibre en silice ;
 - 30 - un bloc de fibre multimode à gradient d'indice.

5. Dispositif d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'un bloc tampon de fibre multimode à saut d'indice est en outre ajouté à chacune desdites extrémités en vis-à-vis desdites première et deuxième fibres, ledit bloc étant choisi de façon que son diamètre extérieur soit sensiblement égal à celui desdites première et deuxième fibres.
6. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdites deux fibres monomodes à cœur étendu sont réalisées par diffusion de dopants du cœur optique d'une fibre monomode clivée.
7. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdites première et deuxième fibres monomodes à cœur étendu sont des fibres à maintien de polarisation.
8. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit cristal liquide est un cristal liquide dispersé dans un polymère (en anglais PDLC pour "Polymer Dispersed Liquid Crystal").
9. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de contrôle par un champ électrique desdits moyens d'atténuation.
10. Dispositif d'atténuation selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'au moins une partie de la périphérie de chacune desdites première et deuxième fibres monomodes à cœur étendu est métallisée, et en ce que ledit champ électrique est créé entre deux électrodes constituées par chacune desdites parties métallisées desdites fibres en vis-à-vis.
11. Dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de contrôle par un champ optique desdits moyens d'atténuation.
12. Application du dispositif d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 à la mise en œuvre de l'un au moins des dispositifs appartenant au groupe comprenant :
 - un limiteur de puissance contrôlable par puissance optique ;
 - un atténuateur variable contrôlable par tension.

13. Système d'atténuation d'au moins un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux dispositifs d'atténuation selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, et en ce que les fibres desdits au moins deux dispositifs d'atténuation sont
- 5 disposées en ruban de fibres.

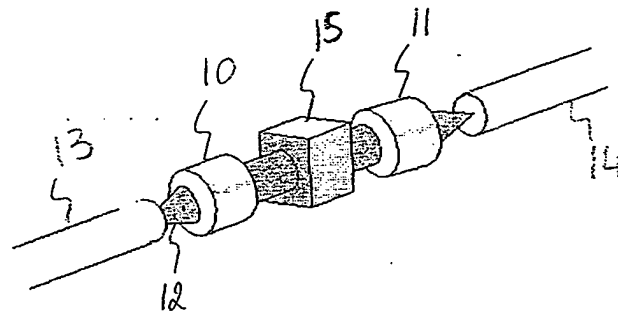


Figure 1

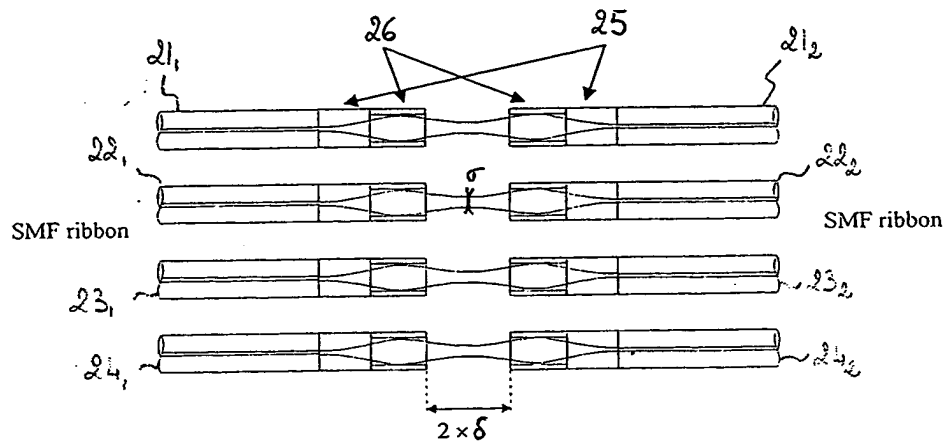


Figure 2

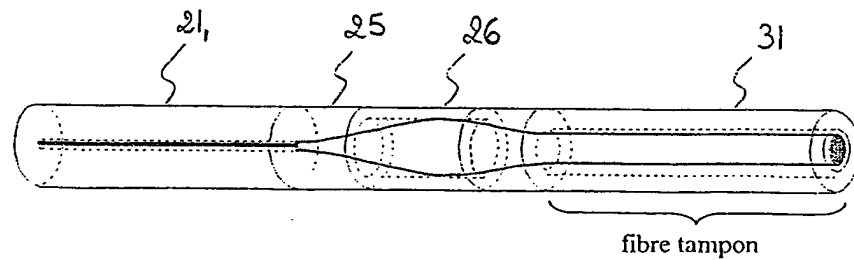
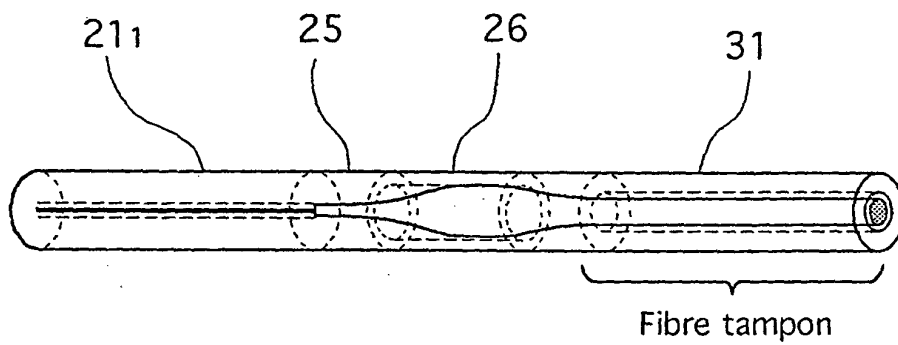
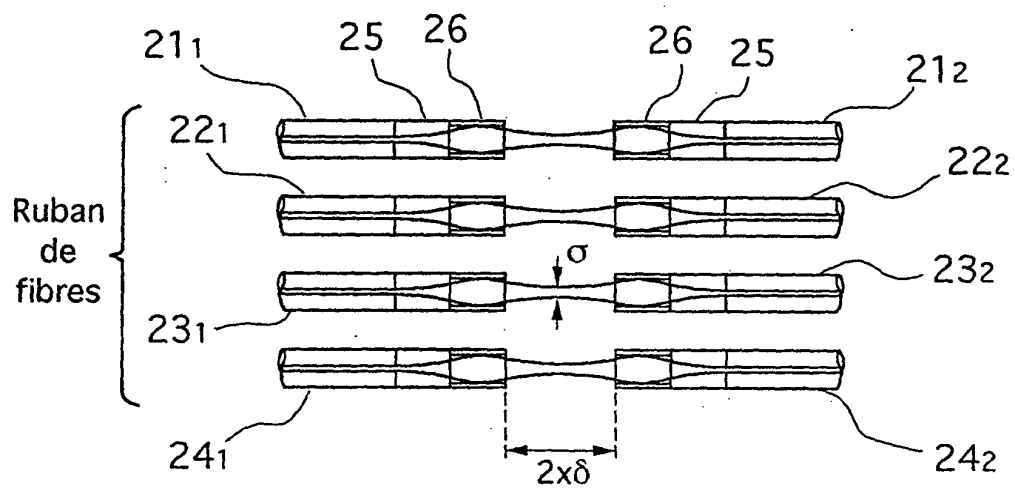


Figure 3



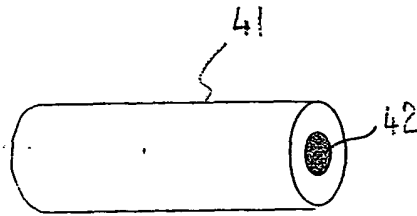


Figure 4

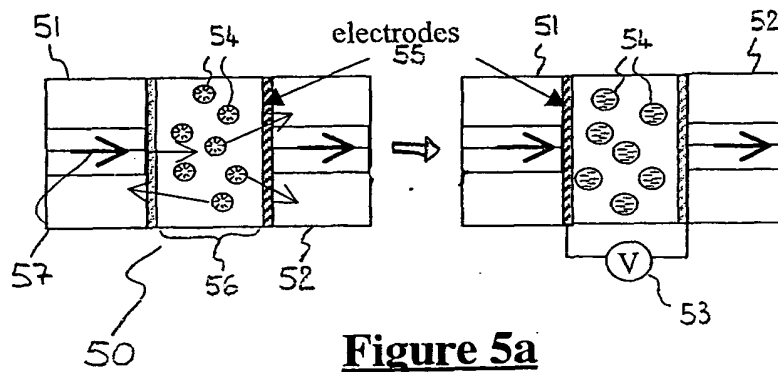


Figure 5a

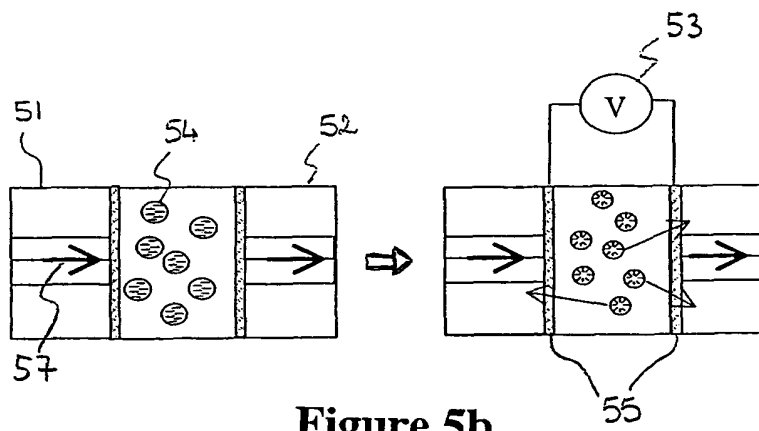


Figure 5b

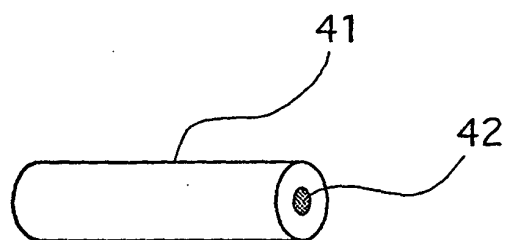


Fig. 4

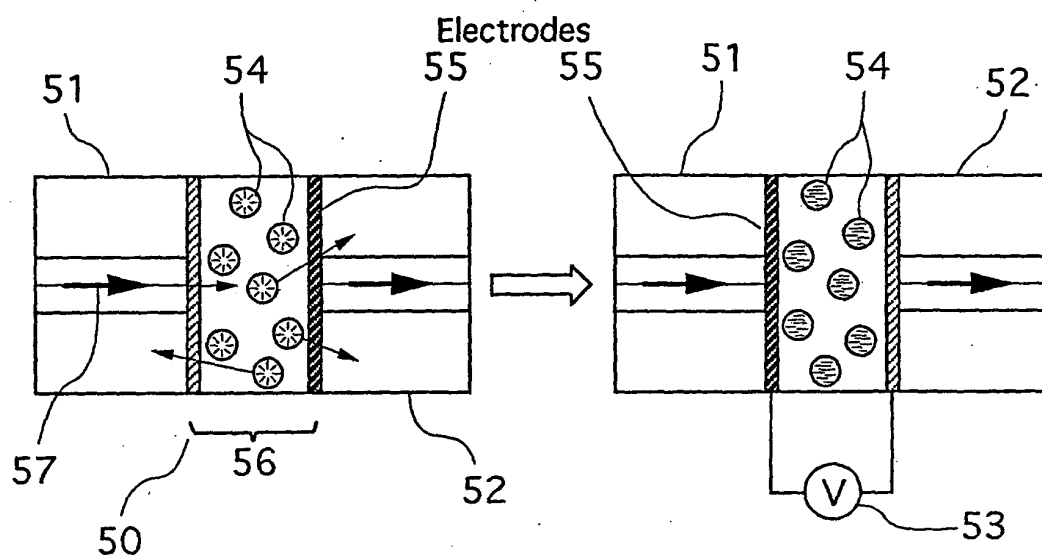


Fig. 5a

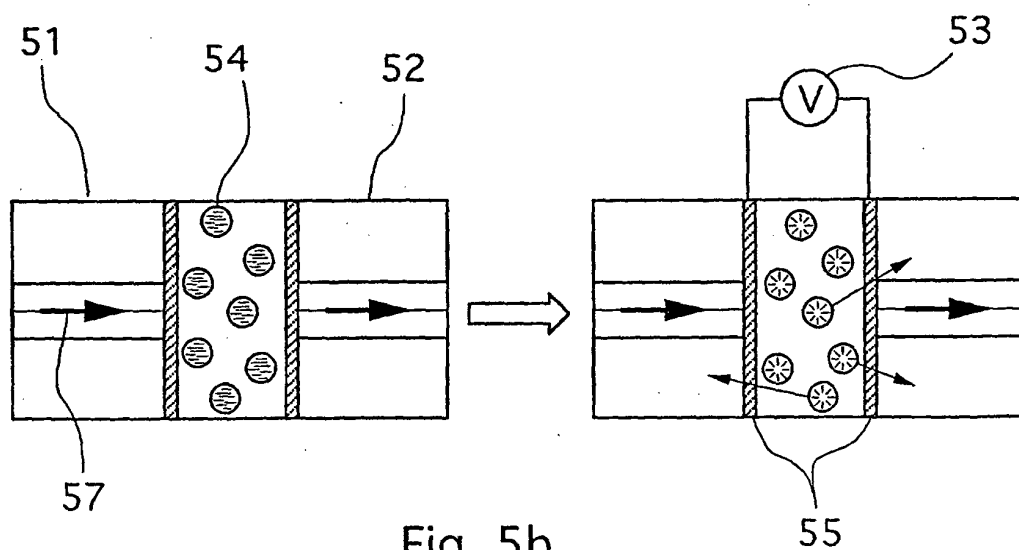


Fig. 5b

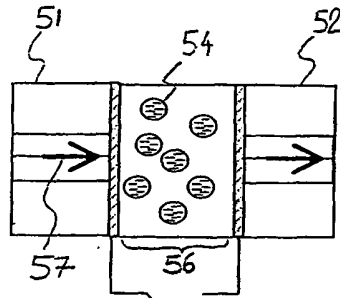


Figure 6a

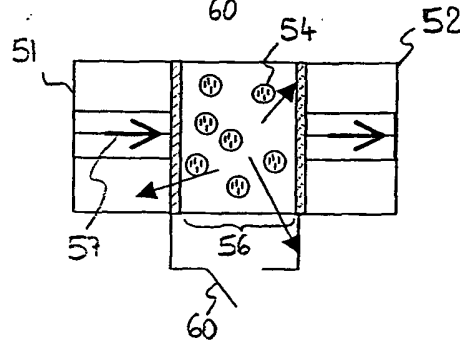


Figure 6b

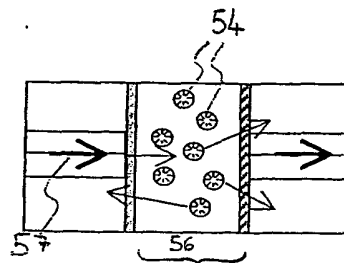


Figure 7a

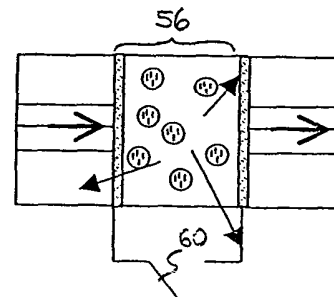


Figure 7b

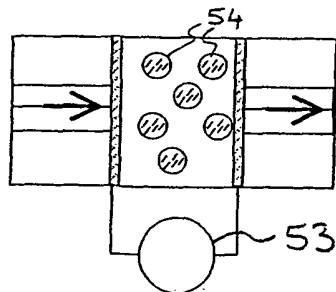


Figure 7c

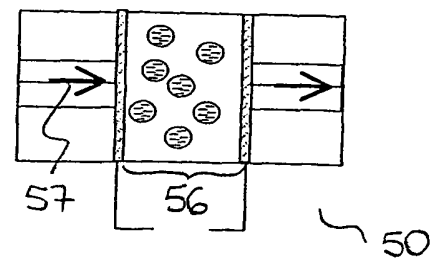


Figure 7d

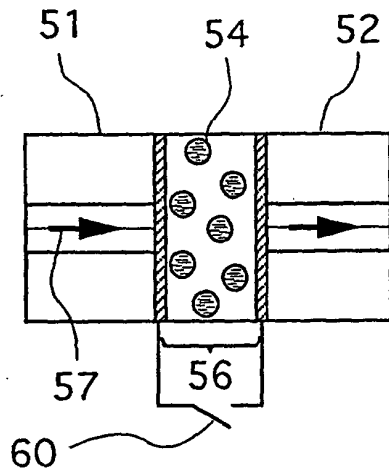


Fig. 6a

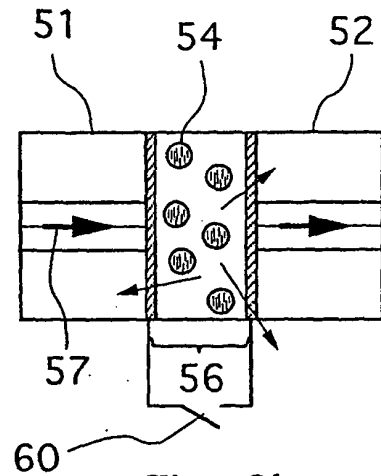


Fig. 6b

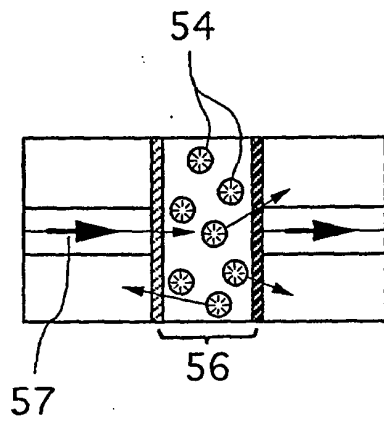


Fig. 7a

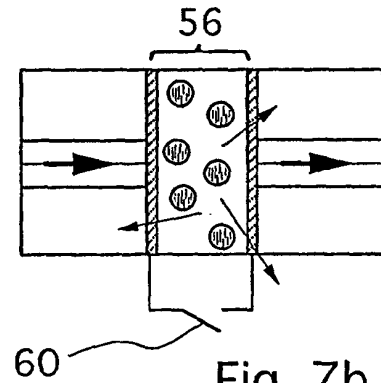


Fig. 7b

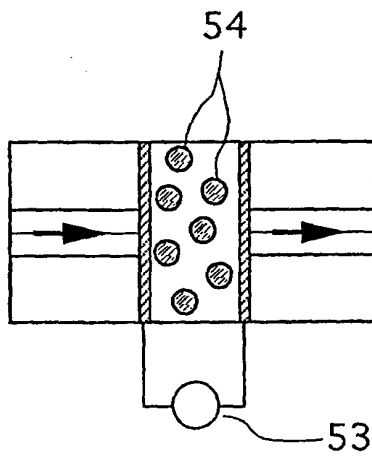


Fig. 7c

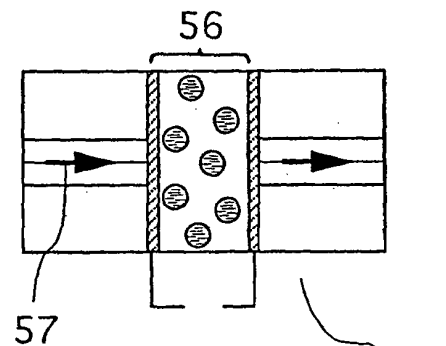


Fig. 7d

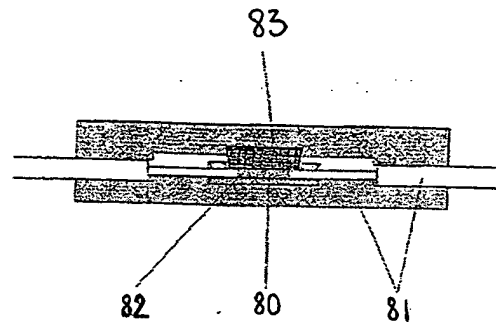


Figure 8a

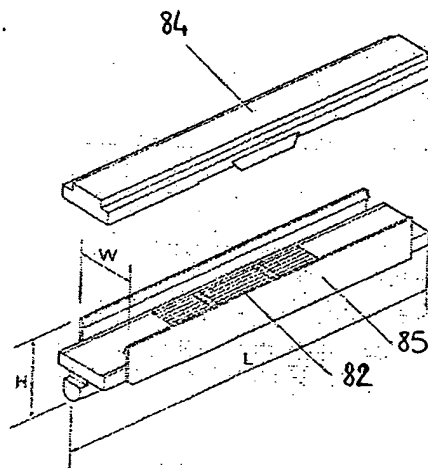


Figure 8b

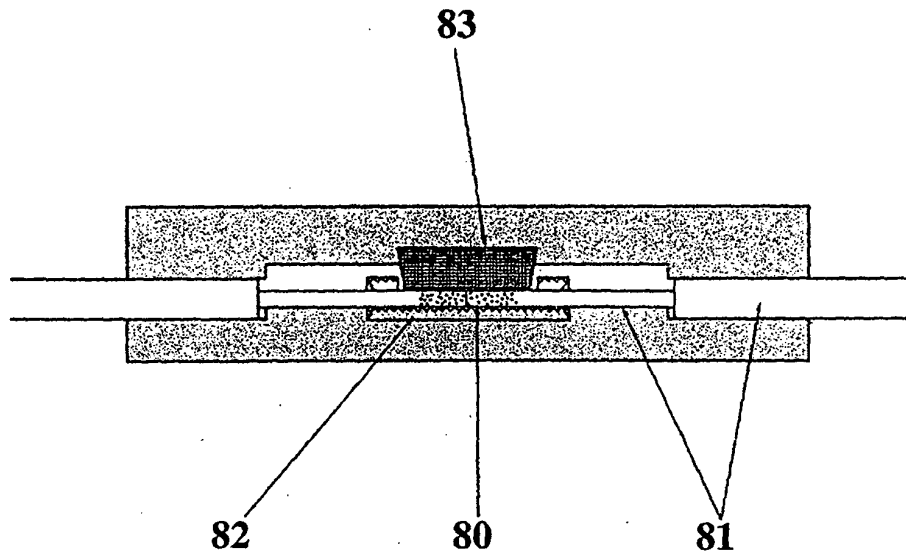


Figure 8a

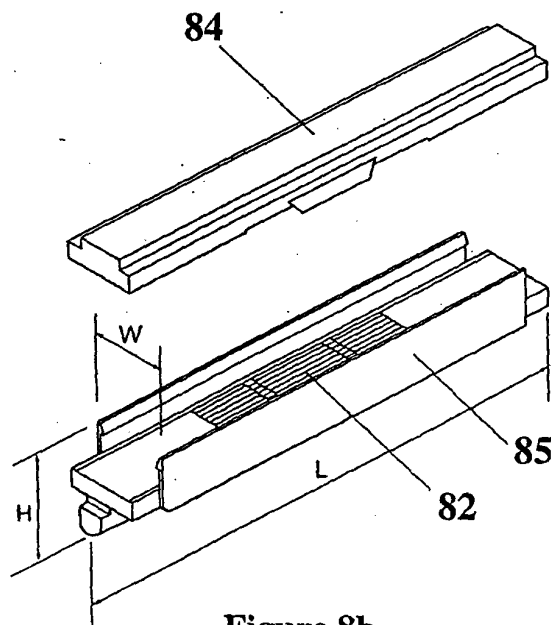


Figure 8b

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1/1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DS 113 W / 260899

| | | | |
|--|-----------------------------|--|-------------|
| V s références pour ce dossier (facultatif) | | 6731 | |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL | | 0101967 | |
| TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Dispositif d'atténuation d'un signal véhiculé par fibre optique sous la forme d'un faisceau lumineux, système d'atténuation et applications correspondantes | | | |
| LE(S) DEMANDEUR(S) : GET/ENST BRETAGNE Technopole de Brest-Iroise BP 832 29285 BREST Cedex | | | |
| DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages). | | | |
| Nom | | de Bougrenet | |
| Prénoms | | Jean-Louis | |
| Adresse | Rue | Trevisquin | |
| | Code postal et ville | 29290 | SAINT-RONAN |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| Nom | | DUPONT | |
| Prénoms | | Laurent | |
| Adresse | Rue | Le Dillec | |
| | Code postal et ville | 29280 | PLOUZANE |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| Nom | | CHANCLOU | |
| Prénoms | | Philippe | |
| Adresse | Rue | 49, rue Kernu | |
| | Code postal et ville | 22700 | LOUANNEC |
| Société d'appartenance (facultatif) | | | |
| DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) | | le 13 février 2001 P. VIDON (Mandataire) CPI 92-1250 | |

